

基于轨道交通的数据集与模型验证系统设计

尚永涛, 王斌儒, 梁师齐, 侯圣杰

(中车青岛四方机车车辆股份有限公司, 山东 青岛 266100)

摘要: 针对动车组运营中多源异构数据处理复杂、验证冗余及报告不一致的问题, 文章对构建统一数据处理与标准化验证方法进行了研究; 通过结合 Java 语言与 Docker 容器技术, 建立了一套集成化数据处理框架和模型验证流程, 采用规则引擎实现多源数据的规范化解析, 并利用 Docker 部署可复用的验证环境; 以走行部数据为例进行验证分析, 结果表明, 该方法实现了多源数据的自动适配与验证流程标准化, 显著提高了数据处理效率和系统可复用性, 在实际应用中有效降低了人工成本与验证周期。

关键词: Java; Docker; 数据处理; 数据解析; 模型验证

Design of Dataset and Model Validation System Based on Rail Transit

SHANG Yongtao, WANG Binru, LIANG Shiqi, HOU Shengjie

(Qingdao Sifang Co., Ltd., CRRC, Qingdao 266100, China)

Abstract: To address the issues of complex processing, redundant validation, and inconsistent reporting of multi-source heterogeneous data generated by electric multiple unit (EMU) operation, research on building a unified data processing and standardized validation method is conducted. By integrating the Java language with the Docker container technology, a unified data processing framework and standardized model validation process is proposed. A rule-based engine is used to achieve the normalized parsing of multi-source data, while the Docker technology is used to deploy reusable validation environments. By taking the bogie data as an example for validation and analysis, the results show that this method achieves the automatic adaptation of multi-source data and the standardization of validation process, significantly improving the efficiency of data processing and the reusability of the system, thus effectively reducing labor costs and validation cycles in practical applications.

Keywords: Java; Docker; data processing; data parsing; model validation

0 引言

近年来, 随着多型号动车组投入运营, 车辆监测数据采集技术持续升级^[1], 数据规模与维度不断扩展, 这些数据^[2]在结构上形成了包含结构化、半结构化和非结构化数据在内的多源异构数据^[3]体系, 其中结构化数据约占 20%~30%, 半结构化数据占 10%~20%, 而非结构化数据占比超过 50%。然而, 当前国内高铁模型多由高校和科研机构开发, 与实际运营需求存在脱节, 缺乏动态更新机制, 导致模型在真实复杂环境中适应性不足、精度下降。相比之下, 国外厂商^[4]已将模型开发深度融入运营流程, 实现了从数据到应用的全链条管理与动态优化。面对动车组状态监测数据(如受电弓试验、高压系统、走行部、车门^[5]、车辆运营及 SHM 数据等)类型多样、结构复杂、分布不均衡等特

点, 传统数据处理方法难以实现多模态数据的高效融合与价值挖掘。因此, 构建一站式数据集与模型验证系统, 依托机器学习技术深入挖掘数据价值、加速算法验证, 对提升动车组故障预测与健康管理 (PHM) 能力, 推动高速铁路智能化运维发展具有重要的理论意义与工程价值。

1 系统结构及原理

1.1 系统结构

以动车组车载数据和文件为基础与模型的结合应用, 通过平台搭建, 实现动车组各状态数据(受电弓试验数据、高压系统数据、走行部数据、车门数据、SHM 数据、车辆运营数据)的数据集中管理与模型管理, 并结合相关诊断、预测、评估模型, 进行模型验证, 最终实现动车组车辆在不同层级的故障诊断、故障

收稿日期:2025-08-23; 修回日期:2025-10-09。

作者简介:尚永涛(1984-),男,高级工程师。

引用格式:尚永涛,王斌儒,梁师齐,等.基于轨道交通的数据集与模型验证系统设计[J].计算机测量与控制,2025,33(11):343-348.

预测以及健康评估模型的应用。

采用基于微服务的分层解耦架构^[6]，支持国产化部署，支持 Windows、Linux 系统，采用基于 HTTPS 协议的 RESTful API^[7]实现服务端与客户端的网络通信，建立双向认证的安全通道。通信协议设计满足以下特性：一是支持断点续传保障大文件传输可靠性；二是采用消息队列实现异步任务处理；三是通过 Token 机制实现细粒度的访问控制。网络层具备自动重连和负载均衡能力，确保在弱网环境下仍能维持基础服务可用性。以实现数据接入的多样性、模型分析的灵活性、平台服务的高可用性及功能的可扩展性。

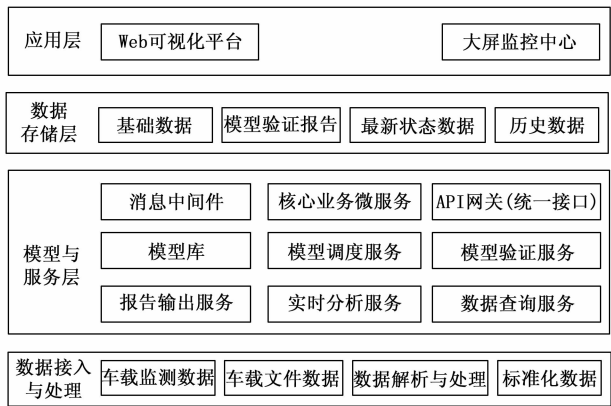


图 1 系统结构图

系统自底向上可分为四个核心层次^[8]：数据接入与处理层、模型与服务层、数据存储层和应用层。

1) 数据接入与处理层：负责多源异构车载数据的采集、解析与标准化，为上层分析提供高质量的数据源。

2) 数据存储层：为不同应用场景提供多元化的数据存储与查询支持。

3) 模型与服务层：平台的核心智能中枢，承载了各类分析模型与业务逻辑。主要将处理后的数据与专业模型结合，生成分析报告。

4) 应用层：将分析结果以多种形式呈现给最终用户，实现平台价值。

1.2 系统原理

基于数据驱动架构动车组车载传感设备通过车地无线通信将实时振动数据流或离线数据文件传输至平台的数据接入层，经数据接入层对原始二进制流数据进行解析与解包，转换为含时间戳、测点 ID 及振动值等信息的标准化格式；处理后的数据被同步持久化至数据库，以支持长期趋势回溯与模型优化，该数据作为“数据就绪”事件发布至消息中间件（如 Kafka）。模型调度引擎通过订阅相应主题实现事件触发，一旦监测到新数据到达，则调用预置特征提取算法从原始数据中提取有效

特征并进行模型适配；模型验证服务加载诊断、评估或预测等相应模型，将特征输入模型进行验证，同步查询知识图谱中的故障特征库，将模型输出与已知故障模式进行匹配与校验。系统将验证结果实时推送至 Web 监控平台进行可视化展示，同时将完整验证日志（包括输入数据、模型版本及模型验证输出结果）存储于数据库，以实现全流程可追溯性与分析支持。

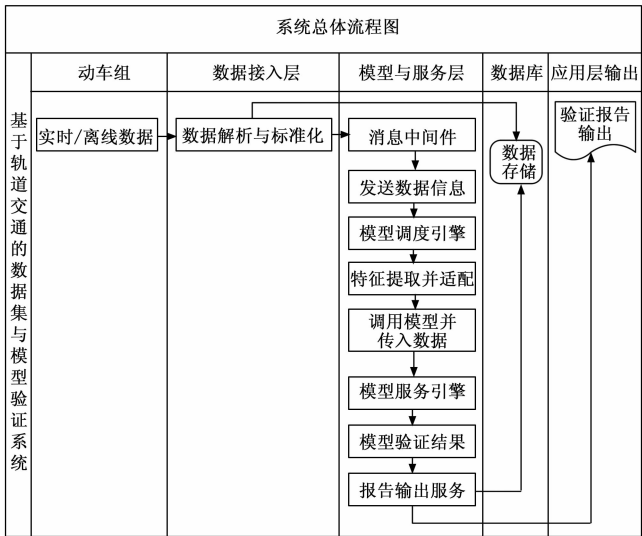


图 2 系统原理图

2 系统设计与实现

2.1 系统需求分析

为实现轨道交通车辆状态监测数据的全生命周期管理并构建可靠的模型验证支撑平台，需构建于一种分层、模块化的软件架构。其核心在于实现对多源异构数据的统一集成、规范化存储与高效处理。具体而言，系统数据层需依据关键设备科目建立分类数据库表，以实现原始数据在原子级别的规范化存储。面对数据源的异构性，系统必须具备可动态配置的数据接口适配器，以支持从关系型数据库（MySQL、SQL Server、Oracle）至 PHM 回传系统等多种数据源的无缝接入。更为关键的是，需内置一个基于规则引擎的通用解析框架，具备对包括视频、音频、常规文件在内的多种格式原始数据进行统一解析、格式转化与在线标签标注的能力，从而将非结构化与半结构化数据转化为可用于深度分析的结构化信息。此外，需通过统一的接口服务^[9]实现对数据接入全生命周期的监控，并实施差异化的存储与访问策略，以应对不同类型数据的管理需求，最终为上层应用提供标准化的数据服务。

在完成数据集成与治理的基础上，需进一步提供覆盖模型生命周期管理的闭环工作流，其核心是支持工程人员对算法模型进行端到端的验证与评估。系统采用流

程化、可视化的高效交互模式, 允许通过灵活组合数据源、处理组件与算法模型来构建定制化的分析验证流程, 并能基于验证结果动态关联数据、任务及评估信息, 自动生成综合分析报告。性能层面, 必须确保数据查询与解析的高效性, 其平均响应时间与解析速率需满足轨道交通监测场景下的实时性要求。特别需要指出的是, 需直面非结构化与半结构化数据带来的严峻挑战: 对于半结构化数据, 如设备日志与 JSON/XML 格式的监测信息, 其层次结构灵活、模式不固定的特性, 要求系统超越传统 ETL 工具频繁调整解析规则的局限, 实现智能化的自动化解析与集成, 并解决不同数据源间的语义异构性问题; 对于非结构化数据, 如监控视频、部件图像及音频记录, 系统需克服传统依赖人工特征提取与规则建模的效率瓶颈, 为基于深度学习的智能特征提取与识别提供高效的数据管理与预处理支撑, 从而构建一套高效、可靠且可扩展的学术研究与工程应用平台。

具体而言, 结构化数据: 主要来源于列车控制信息系统、传感器网络、运行状态监测设备等, 具有明确定义的字段和数据类型。常见字段包括列车编号、运行速度、轴温、电机电流、电压、设备状态代码等。以往数据处理方法, 传统数据库虽能高效处理规整数据, 但难以适应动车组高并发、实时性强的数据写入与查询需求, 特别是在字段数量多、数据更新频繁的场合。

半结构化数据: 包括设备日志、故障报告、XML/JSON 格式的监测信息及部分车载通信数据。这类数据虽不具备表结构, 但通常包含标签、标记和固定的层次化结构, 例如列车子系统状态的树形结构, 其层次深度和嵌套关系常随系统的复杂度增加, 由于其层次结构灵活、模式不固定, 传统 ETL 工具需频繁调整解析规则, 难以实现自动化解析与集成, 给解析和处理带来一定难度。此外, 不同数据源 (如不同型号列车的日志格式) 之间的语义异构性也增加数据融合^[10]难度。

非结构化数据^[11]: 常见格式为监控视频 (如 MP4、AVI)、图像 (如 JPEG、PNG 格式的受电弓滑板磨损图像、轨道图像)、音频记录 (如司机室通话及环境声音)、以及文本类资料 (如维修记录文档、PDF 技术手册、应急处理预案) 等。在以往数据处理过程中, 主要依赖人工特征提取与规则建模, 方式不仅效率低下, 且难以应对数据量大、类型繁杂的现实场景。例如, 图像与视频数据中包含的故障特征往往需要专业领域知识进行标注与识别。

2.2 系统架构设计

以动车组车载数据和文件为基础与模型的结合应用, 通过平台的搭建, 实现动车组各状态数据 (受电弓试验数据、高压系统数据、走行部数据、车门数据、

SHM 数据、车辆运营数据) 的集中管理与模型管理, 并结合相关诊断、预测、评估模型, 进行模型验证与打包, 最终实现动车组车辆在不同层级的故障诊断、故障预测以及健康评估模型的应用。

采用微服务架构, 支持国产化部署, 支持 Windows、Linux 系统, 开发语言采用 Java 语言, IDEA 为主要开发工具, 模型验证 C++、Python 等语言。

平台的体系架构如图 3 所示。

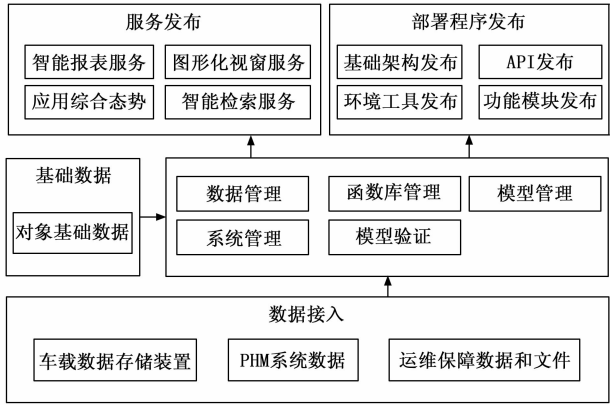


图 3 系统架构

2.3 核心模块设计

2.3.1 数据处理模块

通过智能化的多源数据集成引擎, 实现对动车组车辆运行状态数据、故障记录、试验台测试数据及检修维护记录的统一接入与处理^[12]。支持包括 MP4、PDF、TXT、DAT、WAV、AVI、MGS、CSV 及 MAT 等多种文件格式的自动解析与内容提取。针对动车组数据特有的多系统、高采样率和异构特征, 采用基于可配置规则引擎的智能解析架构, 为牵引系统、制动系统、网络控制系统、走行部等关键子系统分别预置了数据解析模板, 实现从非结构化与半结构化数据中提取标准化、结构化的特征数据。

数据处理阶段^[13], 主要执行以下几个关键步骤, 包括缺失值处理、异常值检测与处理、重复值处理和数据标准化与归一化等来满足轨道交通数据高可靠性与安全性。

缺失值处理^[14]: 针对动车组运行过程中因传感器间歇性失效或数据传输丢包导致的缺失值, 采用按同工况历史数据的均值、中位数的插值方法进行填补, 并对缺失严重字段提出预警, 提示校验传感器状态。

异常值检测与处理^[15]: 结合动车组系统特性, 采用基于物理约束 (如速度非负、电流范围等) 与统计方法 (动态阈值算法、滑动窗口 Z-Score 检测) 识别异常数据。对于异常值, 自动剔除, 并记录处理日志。确保

关键运行参数的真实性与有效性。

重复值处理^[16]：自动识别并清除完全重复的数据记录，对于因数据采集系统重复上报产生的近似重复数据，根据时戳、列车号、车厢号和数据源类型进行组合去重，确保数据的唯一性和一致性。

数据标准化与归一化^[17]：针对动车组多源异构数据，对数值型特征（如电压、温度、振动幅值等）按建模需求进行 Min-Max 归一化或 Z-Score 标准化；对类别型数据（如故障代码、设备状态标识）进行标签编码，消除量纲影响，提升数据质量。

为保障数据处理过程动车组数据的安全性、可靠性，增加了完善的错误处理与异常管理机制，包括文件解析失败、字段缺失、数据类型不符、数据超出合理范围、编码异常、存储失败及外部系统接口超时等；

数据处理模块作为整个平台统一数据入口，通过配置灵活的解析规则、字段映射及清洗策略，可适配多种动车组特有数据格式，最终输出标准化、高质量的数据结果，为后续列车健康评估、故障预测与智能运维建模提供可靠数据基础。

2.3.2 数据规则模块

主要是通过数据规则^[18]实现对数据集的解析处理，因此数据规则模块对于整个系统来说，是非常重要的核心业务模块。用户可通过可视化界面或配置文件自定义解析规则，灵活定义字段分隔符（如 CSV 文件的逗号或制表符）、数据类型（字符串/数值/日期等）、格式化方式（日期格式、小数位数等），并支持正则表达式等高级匹配模式。运行时根据指定的规则版本对原始数据进行解析转换，通过内置的校验机制确保数据质量，如检查字段完整性、数值有效性和格式合规性。该模块既能处理结构化数据（表格类），也能解析半结构化数据（日志/报文），且支持动态加载新规则适配未知格式；其一致性保障机制则通过版本锁定和审计追踪实现，避免因规则变更导致的数据波动。该模块是构建可扩展数据管道的关键基础组件。

数据规则模块主要包括数据解析的基础 EntityProcessing 类，负责解析受电弓数据规则的 ASP-System 类，负责解析高压系统数据规则的 High-pressure-System 类，负责解析走行部数据规则的 Running-Gear-System 类，负责解析车门数据规则的 Car-Door-System 类，负责解析车辆运营数据规则的 Vehicle-Operations-System 类，负责解析 SHM 数据规则 SHM-System 类。实现主要功能，需先加载规则 EntityProcessing 单元，再通过调取规则详情中所需要的数据进行解析。

2.3.3 模型验证模块

模型验证模块采用 Java 语言与 Docker 容器化技术

深度融合^[19]的设计方案，构建了一套标准化、可复用的算法模型验证体系。该模块通过将算法模型代码、运行时依赖库及系统环境统一打包为 Docker 镜像^[20]，实现了验证环境的快速部署和隔离运行。架构上采用三层设计模式：交互层负责参数接收与结果展示，调度层管理容器生命周期^[21]，执行层运行具体验证任务。执行流程如图 4 所示。

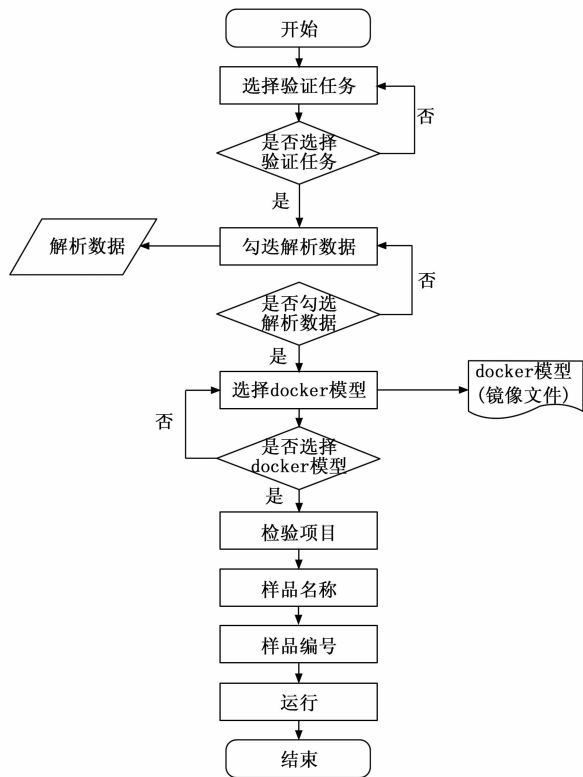


图 4 模型验证流程图

2.3.4 报告生成模块

报告生成模块采用字符串插值技术实现，支持自定义多种格式的报告模板，以满足不同业务场景下的输出需求。可提前制作包含变量占位符（如 {{sampleName}}、{{project}}、{{sampleCode}} 等）的 Word 模板文件，并通过上传界面将如“模型报告模板.docx”等文件保存至模板库中。在报告生成环节，能够根据检验项目类型（如故障诊断、健康评估、预测分析等）自动匹配相应模板，动态填充模型验证结果数据（如准确率、召回率、F₁ 分数、置信度等性能指标）及相关项目属性信息，实现标准化报告的一键生成。

该模块支持故障诊断报告、健康状态评估报告、预测维修报告等多种类型的模板配置，兼容常见的 DOCX 文档格式，允许设置页眉、页脚、公司标识等固定元素，并具备模板版本管理能力，确保模板的可维护性与可追溯性。同时，提供模板变量校验与实时预览功能，

有效避免因字段映射错误或变量遗漏导致的内容缺失问题。

为满足不同的个性化需求, 支持根据实际业务灵活设计报告样式与内容结构。例如, 可针对不同验证任务上传多个模板, 并在生成报告时按需选择, 将自动替换模板中的变量并保持格式统一。以下为三个典型报告模板示例, 展示了如何根据模型验证结果自动生成格式规范、内容完整的报告:

健康评估报告模板 (.docx 格式) 包括报告编号、报告基本信息 (项目名称、设备编号、评估模型、评估日期、模型版本、报告生成人)、评估指标、详细指标分析、趋势与建议。

故障诊断报告模板 (.docx 格式) 包括报告编号、报告基本信息 (项目名称、设备编号、诊断模型、诊断日期、模型版本、报告生成人)、诊断结果、置信度分析、维修建议。

预测性维修报告模板 (.docx 格式) 包括报告编号、报告基本信息 (项目名称、设备编号、评估模型、评估日期、模型版本、报告生成人)、预测分析结果、置信度评估、维修建议方案。

3 测试结果与分析

3.1 测试环境

运行环境可分为硬件环境和软件环境两部分, 以确保在部署和运行过程中的稳定性与高效性。

硬件环境方面, 服务器端采用 Linux 作为操作系统, 以提供稳定的运行基础。数据库层采用关系型数据库和非关系型数据库相结合方式, 以满足结构化数据存储和分布式计算的需求。同时, 运行环境需安装 JDK, 可确保后端服务在 Java 虚拟机 (JVM) 上的兼容性和执行效率。

软件环境方面, 客户端采用 Windows 操作系统。浏览器支持目前主流浏览器, 包括 Internet Explorer 8 (IE 8)、Firefox (火狐) 及 Chrome (谷歌) 等主流浏览器, 以满足不同用户的访问需求。

3.2 测试方案

1) 测试条件:

为确保试验的顺利开展, 在硬件方面设备性能指标需满足软件运行的要求, 服务器已完成了数据库服务、运行时服务、数据集与模型验证服务等必要服务的部署; 软件均可稳定运行, 且基础信息配置完成, 同时包括原始数据与数据模型在内的数据准备工作。

2) 测试方法:

系统测试与性能评估阶段, 采用以功能验证为核心的综合性测试策略。该策略旨在通过系统性的验证过

程, 确认系统行为与既定需求规格严格一致, 并评估其在真实环境下的表现。为实现这一目标, 我们构建了一套多维度、多层次的测试用例框架, 并主要依托人工执行方式进行深入检验, 以确保测试过程具备充分的灵活性与洞察力, 能够捕捉自动化测试难以覆盖的细微逻辑错误与用户体验问题。

测试用例是整个评估过程的基石, 涵盖数据处理、规则配置、模型验证及报告生成四大核心模块。严格遵循软件测试理论, 确保用例集对系统功能空间形成有效覆盖。测试用例设计涵盖三个关键维度: 其一, 典型用户场景。模拟目标用户在实际工作中的完整操作流程, 旨在验证系统是否能无缝支持端到端的业务目标。其二, 边界条件。针对所有输入参数与配置选项, 系统地识别并测试其有效范围的上下限、空值、极值等临界情况, 以暴露潜在的逻辑与数据校验缺陷。其三, 异常处理机制。主动注入包括服务中断、数据访问失败、资源耗竭在内的各类异常, 以检验系统的健壮性 (Robustness) 与自我恢复能力。测试数据上, 兼顾真实性与多样性原则。基础测试集由符合规格的"标准数据"构成, 用于验证功能的正向路径。在此基础上, 特意引入包含大量噪声数据 (如无关记录、缺失字段) 与异常格式数据 (如非标准分隔符、字符编码错误、数据类型失配) 的测试用例。有效地考察系统数据清洗、解析引擎与容错机制在实际复杂运行环境下的表现, 确保了系统的可靠性。

3.3 测试结果

以时代电气提供的动车组走行部关键部件为典型实验对象, 构建了一套完整的数据采集、算法验证与报告生成系统解决方案。为全面评估该系统的性能、功能及工程适用性, 我们设计了涵盖数据处理效率、系统资源占用、功能实现完备性及操作安全性等多个维度的测试方案。通过对系统在实际运行场景下的表现进行持续监测与量化分析, 获得了以下关键测试结果。

量化分析结果表明系统在响应速度、解析能力、格式兼容性 & 资源管理等多个关键维度均表现出优异性能, 充分验证其高效稳定的运行特性。响应与解析性能方面, 通过 Fiddler 抓包工具进行的专项测试显示, 对数据查询请求的平均响应时间为 1.3 秒 (基于 5 次采样), 对十万条级别大规模测试数据集的平均解析时间仅为 0.8 秒 (基于 5 次采样), 显著体现在数据接入与预处理环节具备出色的实时性与高吞吐量处理能力, 能够有效支撑大规模数据场景下的高效运作。数据类型兼容性方面, 展现出卓越的多源异构数据适应能力, 其数据类型管理模块成功实现了对包括 mp4、pdf、txt、dat、wav、avi、mgs 以及 csv 在内的 8 种常见文件格式

的全面支持,不仅覆盖了主流多媒体与结构化数据格式,也满足了工程现场复杂环境下多样化的数据上传与解析需求。系统资源管理层面,通过 Iperf 与 Netperf 等专业网络性能测试工具对核心服务器进行持续监测,结果显示系统在高负载数据处理过程中网络吞吐率持续保持高位稳定状态,系统整体资源占用率始终控制在 20% 以下,充分验证了系统采用的轻量级资源调度算法与优化的系统架构在资源利用效率方面的显著优势,为系统长期稳定运行提供了可靠保障。与主流同类系统进行横向对比分析,在数据解析效率方面提升约 18%,在规则配置操作响应时间上优化约 12%,模型报告生成模块的渲染性能达到行业中等偏上水平,显著优于传统静态模板填充方案,进一步凸显了系统在整体性能与用户体验方面的综合竞争力。

综上所述,本次以动车组走行部为典型场景的全方位测试验证,有力地表明系统解决方案在数据处理效率、系统运行稳定性、功能完备性及操作安全性等方面均达到了预期设计目标。不仅显著提升了数据解析、模型验证环境部署与报告生成等环节的自动化水平与工作效率,其标准化的输出成果为轨道交通关键部件的精准状态监测、科学维护决策提供了可靠的技术支撑,展现出显著的实用价值。

4 结束语

本研究针对动车组运营过程中产生的多源异构数据处理难题,提出了一种基于 Java 语言与 Docker 容器化技术相结合的统一数据集处理框架与标准规则的模型验证流程解决方案。该研究立足于当前动车组运维领域面临的数据处理效率低下、模型验证流程不规范等实际问题,通过构建统一的数据处理框架和标准化的模型验证体系,实现了从数据采集到分析应用的全流程优化,同时,该技术框架也具有向其他轨道交通装备领域推广的潜力,将为我国智能交通建设提供有力的技术支撑,为行业解决多源异构数据处理问题提供重要参考价值和意义。

参考文献:

- [1] 于秋波,魏秋实,冯 培,等.城市轨道交通智慧运维研究现状及展望[J].兰州交通大学学报,2025,44(2): 54-55.
- [2] 刘峰博,干叶婷,周 峰.大数据技术在轨道交通应急辅助决策系统中的应用设计[J].华东交通大学学报,2016,33(2): 57-58.
- [3] 李 燕,张 瑜,周军伟.动车组故障预测与健康管理系统方案研究[J].铁路计算机应用,2018,27(9): 2-4.
- [4] 王中尧,麻竞文,王连富,等.动车组故障预测与健康管理体系架构研究[J].智慧轨道交通,2022,59(2): 21-22.
- [5] 李鹏飞,郭 峰,丁剑博.高并发数据处理在轨道交通站台门维护中的策略与实现[J].人民公交,2024,180(12): 67-68.
- [6] 曾海军,黄 孙,虞永健,等.基于微服务的 AFC 车站计算机系统设计[J].电子技术,2024,53(8): 116-117.
- [7] 胡 波,李 冰.基于云平台的综合监控系统 NMS 功能的探讨[J].工业控制计算机,2021,34(2): 9-10.
- [8] 刘 彬,邵 军,陆 航,等.动车组故障预测与健康管理体系(PHM)体系架构研究思考[J].中国铁路,2022(3): 6-8.
- [9] 李立男,王明莉.基于人工智能的轨道交通信号控制系统设计研究[J].信息记录材料,2025,26(1): 101.
- [10] 曾声奎,Michael G. Pecht,吴 际.故障预测与健康管理体系(PHM)技术的现状与发展[J].航空学报,2005,26(5): 629-630.
- [11] 顾伟华,黄天印,郭 鹏.面向大数据的城市轨道交通非结构化数据管理[J].城市轨道交通研究,2016,19(11): 77-78.
- [12] 顾嘉辉,王潇骁,姚 归.城市轨道交通数据汇聚共享系统的设计与研究[J].精密制造与自动化,2024(2): 32-33.
- [13] 黄天立.面向动车组运维的多源数据预处理关键技术研究[与实现[D].北京:北京交通大学,2018.
- [14] 杨 珂,郭晓飞.城市轨道交通大数据治理体系架构与关键技术研究[J].信息技术与标准化,2025(6): 83-86.
- [15] 张程熙.基于时序特征的城轨系统牵引能耗异常值检测方法[D].北京:北京交通大学,2024.
- [16] 奚笑冬.城市轨道交通跨专业数据融合分析的预处理及时间同步方法[J].城市轨道交通研究,2021,24(s1): 42-43.
- [17] 禹 倩,张亚东,郭 进,等.基于深度集成神经网络的城市轨道交通短时进站客流预测[J].铁道学报,2023,45(12): 40-42.
- [18] 徐 伟,孙 旺,许 硕.基于数据挖掘的轨道交通车载监测与维护系统[J].铁道通信信号,2013,49(s1): 146-147.
- [19] 王曦盛.基于 Docker 容器化技术的软件工程自动化测试研究[J].网络安全和信息化,2025(4): 110-111.
- [20] 张黎明,陆秋俊.基于容器技术的国产桌面管理系统设计与实现[J].电脑知识与技术,2025,21(7): 57-58.
- [21] 刘炳辉.基于容器技术的虚拟化云桌面系统设计与实现[J].信息记录材料,2024,25(10): 83-84.